

# 2007年度『光通信システム』開講

**資料中、著作権にかかわる資料は意図的に  
削除しておりますことをご承知置きください。**

**参考文献は明記しておりますのでご参照ください。**

## 単位評価方法

---

|      |                                                      |
|------|------------------------------------------------------|
| 出席点  | $20 \text{ 点} \times \frac{\text{出席数}}{\text{全授業数}}$ |
| レポート | 30 点                                                 |
| 試験   | 50 点                                                 |
| 合計   | 100 点満点                                              |

- ・『光波工学』 國分 泰雄 著 共立出版
- ・『光通信工学』(1)(2) 羽鳥 光俊・青山 友紀 監修 コロナ社
- ・『超高速ネットワーク技術』 河内 正夫 監修 電気通信協会
- ・『やさしいデジタル伝送』 山下 孚 編著 電気通信協会
- ・『やさしいデジタル交換』 愛澤 慎一・清水 博 編著  
電気通信協会
- ・『やさしい光アクセスシステム』 由木 泰紀・三浦 秀利 編著  
電気通信協会
- ・『光導波路の基礎』 岡本 勝就 著 コロナ社
- ・『半導体フォトリソグラフィ工学』 池上 徹彦 監修 コロナ社
- ・『光増幅器とその応用』 石尾 秀樹 監修 オーム社
- ・"Fiber Optic Communication Systems", Givnd P. Agrawal,  
Wiley-Interscience

- 第1章 各種 光通信システム
- 第2章 固定電話とIP電話のシステム
- 第3章 光ファイバのモード特性
- 第4章 光ファイバ伝送特性
- 第5章 光送信器と光受信器の技術
- 第6章 ビット誤り率
- 第7章 光増幅技術
- 第8章 波長多重伝送技術
- 第9章 Next Generation Network (NGN)
- 第10章 光スイッチング技術
- 第11章 光ルーティング技術

# 第1章

## 各種 光通信システム

2007年4月16日(月)

## 光通信はなぜ高速か？

## 光通信はなぜ高速か？

### 光の光ファイバ中の伝送速度

$$v_p = \frac{c}{n_{eff}}$$

$v_g$  : 位相速度

$n_{eff}$  : 等価屈折率

SiO<sub>2</sub>の場合、 $n_{eff} = 1.48$ として

$$v_g = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.48} = 2.03 \times 10^8 \text{ m/s}$$

光の伝送速度

### 電磁波の同軸ケーブル中の伝搬速度

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_s \mu_s}}$$

$v_p$  : 位相速度

$c$  : 真空中の光速

$\epsilon_s$  : 比誘電率

$\mu_s$  : 比透磁率

ポリエチレン絶縁の同軸ケーブルの場合、

$\epsilon_s = 2.3, \mu_s = 1$ として

$$v_g = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{\sqrt{2.3 \times 1}} = 1.98 \times 10^8 \text{ m/s}$$

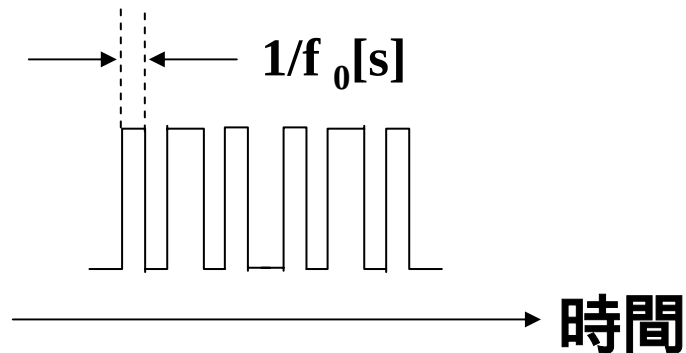
電磁波の伝搬速度



光が電気信号よりも速いわけではない

## なぜ光通信がよいのか？

### 伝送の高速化



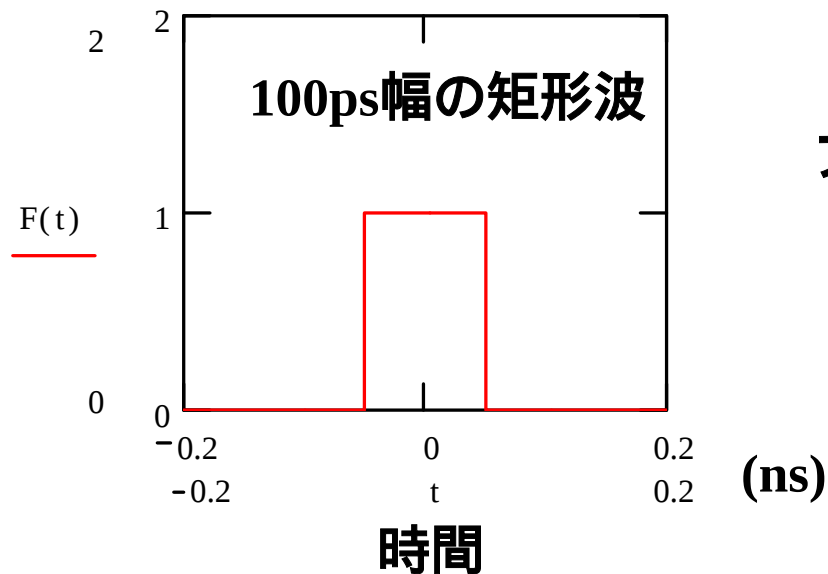
周波数 $f[\text{Hz}]$ のNRZ信号を考える。

⇒ 簡単化のため1タイムスロットの信号について考える。

$$f(t) = \begin{cases} A_0 & (-\frac{1}{2f_0} \leq t \leq \frac{1}{2f_0}) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases}$$

$$f_0 = 10$$

フーリエ変換により周波数成分を解析

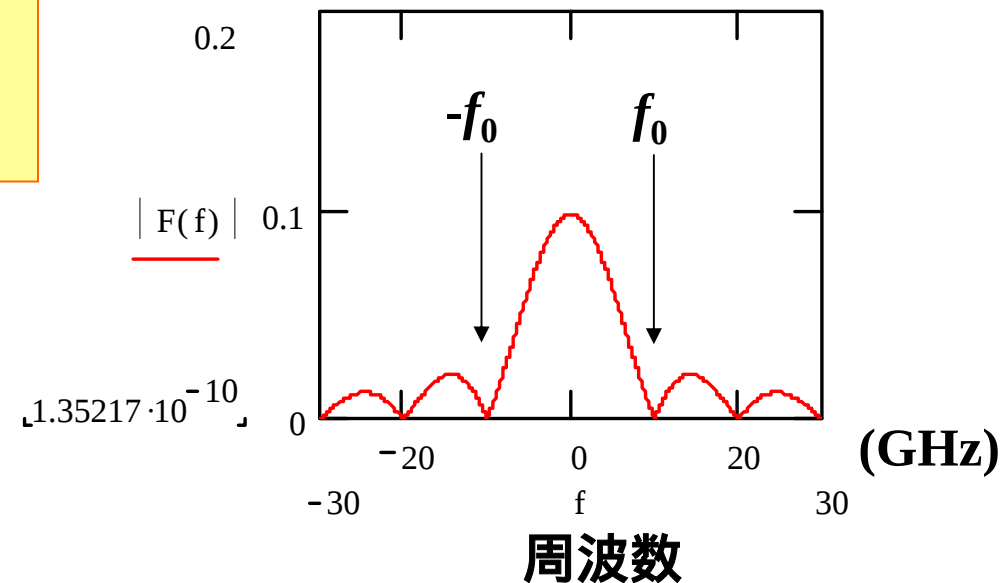


$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$\begin{aligned} F(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt = \int_{-1/2 f_0}^{1/2 f_0} A_0 e^{-j2\pi f t} dt \\ &= A_0 \left( \frac{1}{-j2\pi f} \right) [e^{-j2\pi f t}]_{-1/2 f_0}^{1/2 f_0} = jA_0 \frac{1}{2\pi f} (e^{-j\pi \frac{f}{f_0}} - e^{j\pi \frac{f}{f_0}}) \end{aligned}$$

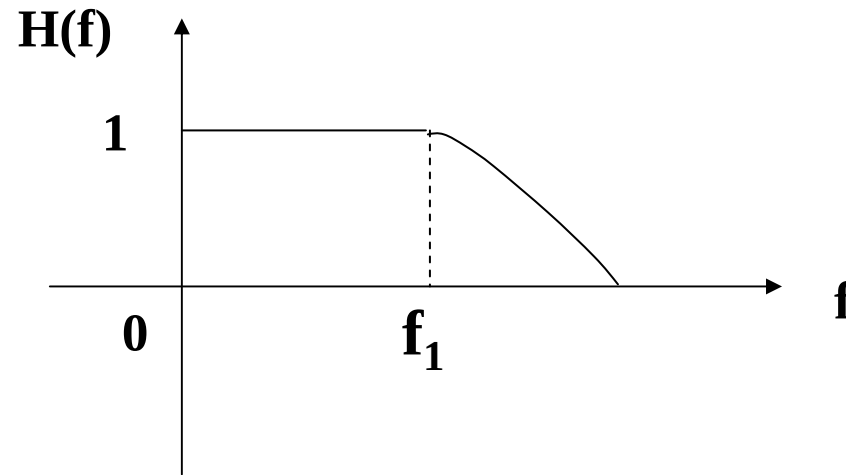
$$= \frac{A_0}{f_0} \frac{\sin(\pi \frac{f}{f_0})}{\pi \frac{f}{f_0}}$$

矩形波のフーリエ・スペクトル



## 伝送路の周波数特性を重畳

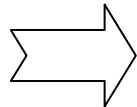
(1) 周波数特性( $f$ 特)の悪い伝送路:メタル線に相当



$$H(\omega) = \frac{\alpha}{1 + (2\pi f / 2\pi f_1)^2}$$

$\alpha$ : 透過率

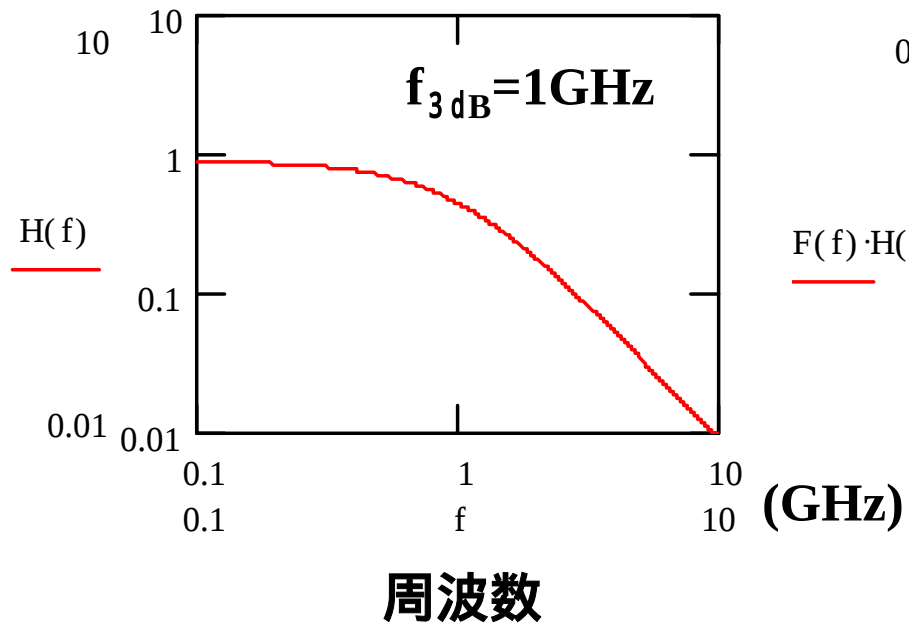
伝送後の波形を計算する。



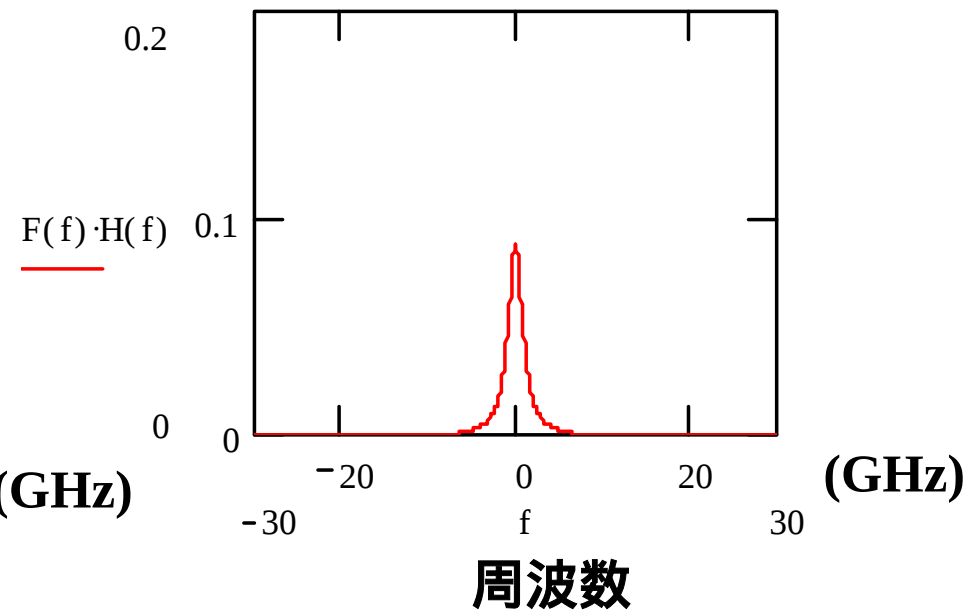
逆フーリエ変換

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) H(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

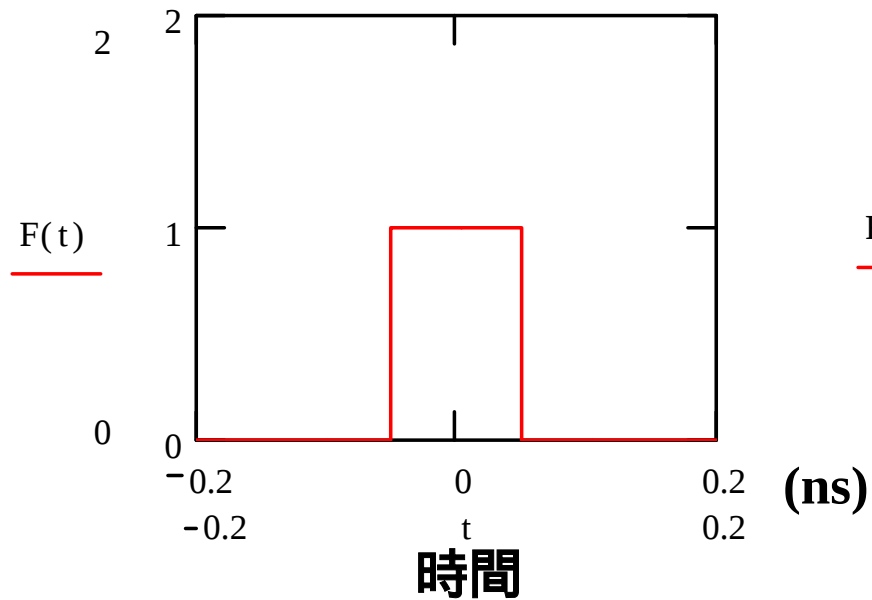
伝送路の損失特性  
( $f$ 特)



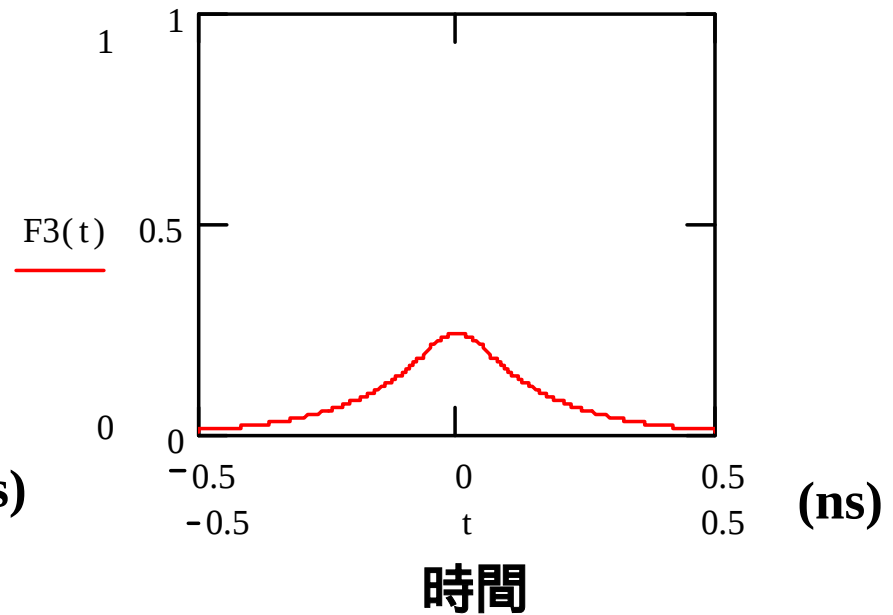
伝送後の $f$ 特



元の矩形波



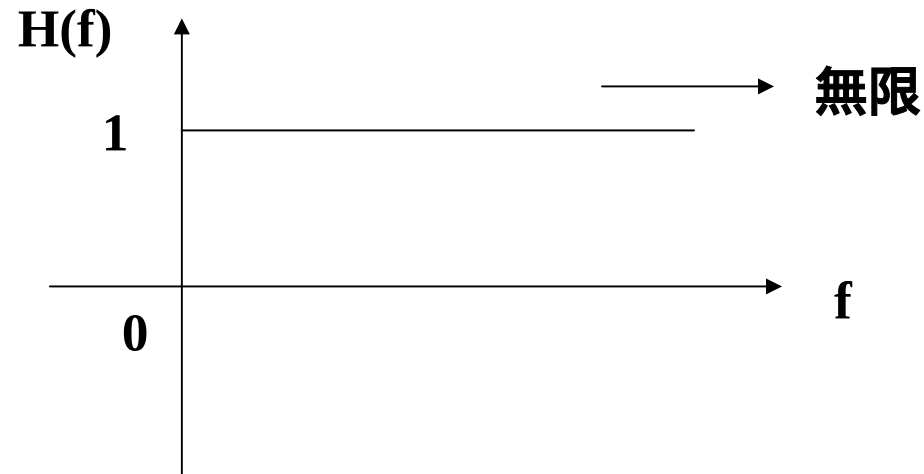
伝送後の波形

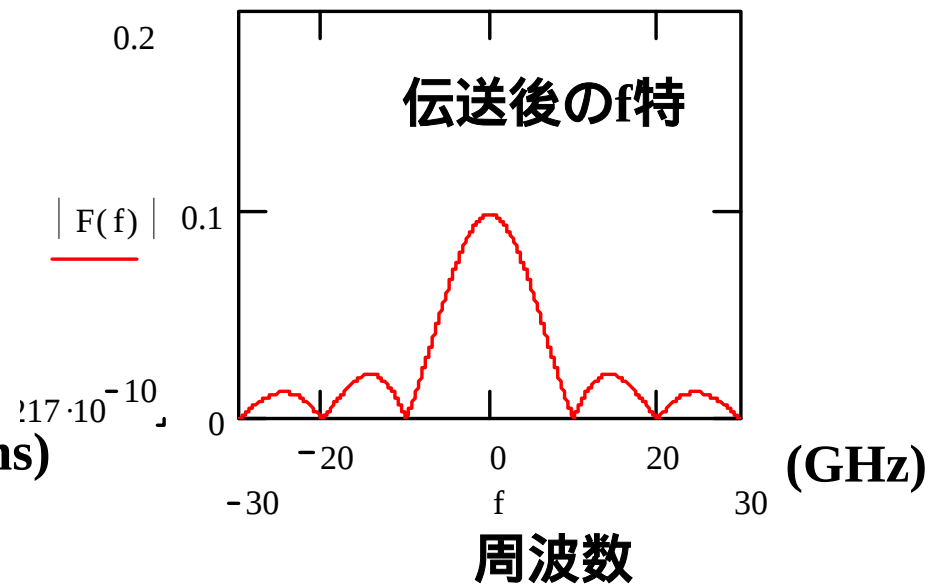
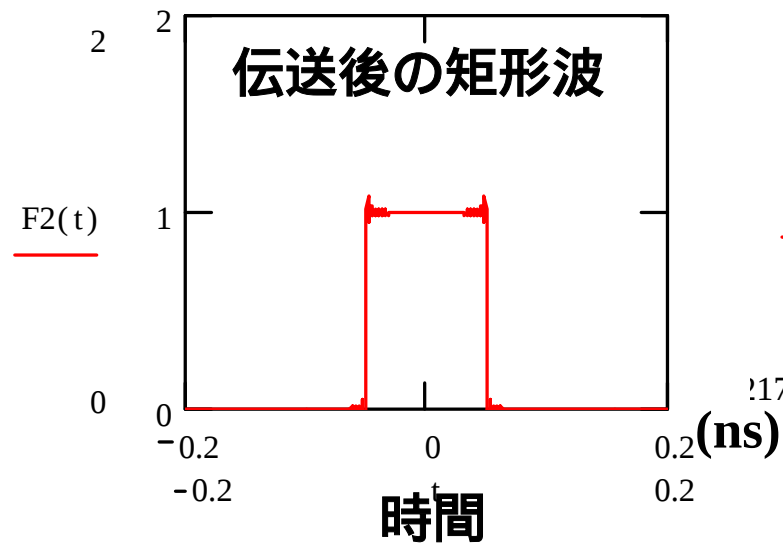
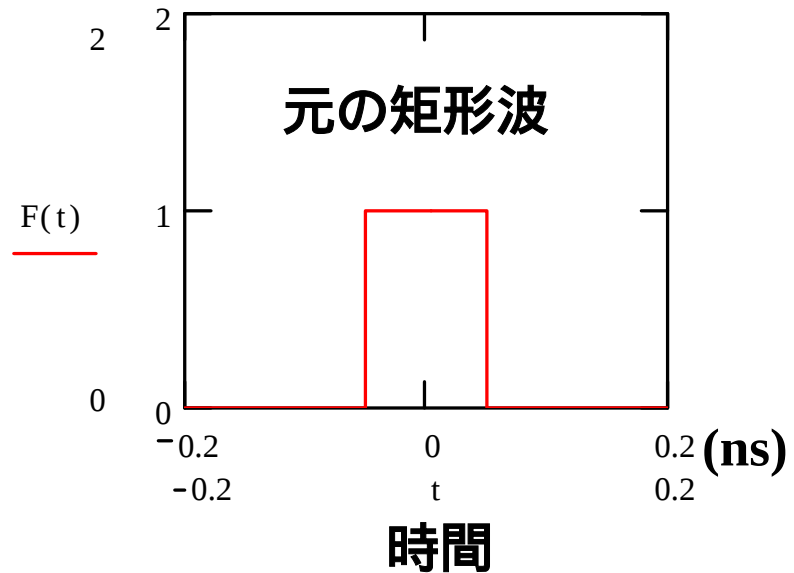


強度の低下とパルス幅の増大

伝送路の周波数特性を重畳

(2) 周波数特性( $f$ 特)の良い(理想的な)伝送路: 光ファイバに相当





「光通信の高速性」:メタル線の場合の $L=0$ とすると、

$$H(f) = \left[ \frac{1}{1 + (f/f_1)^2} \right]^L \quad \Rightarrow \quad H(f) = 1$$

光ファイバの場合と同じとなる！

すなわち、光ファイバの高速性とは高速な信号を長距離まで伝送できるという意味である。

光による通信のメリットは長距離伝送の場合に発揮される。

- プリント基板内の電気信号の高速化(> GHz)により、伝送できる距離が極端に短くなってきた。  
(例) スーパーコンピュータの1 IF >20Gbps ➡ 数cm
- 電磁雑音の影響増大 ➡ 基板設計の負担増大

>GHzの領域で誘電損失が支配的に      >2GHzでの損失影響回避の困難

日経エレクトロニクス  
2005年6月6日号  
p.91 図2(a)

日経エレクトロニクス  
2005年6月6日号  
p.106 図2(a)

## 電気の多値伝送による 信号帯域の狭帯域化

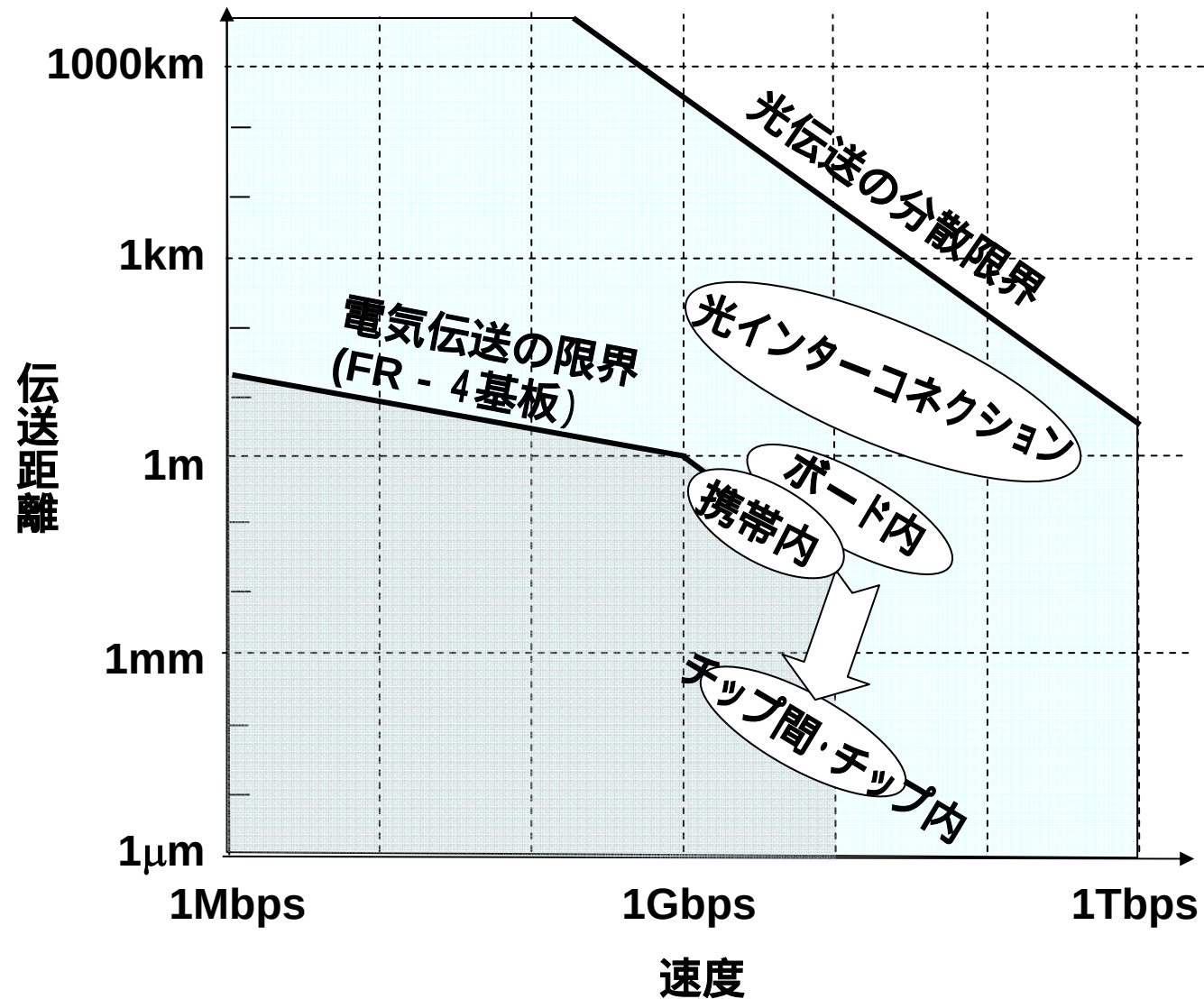
日経エレクトロニクス  
2005年6月6日号  
p.109 図6

## 光伝送への移行

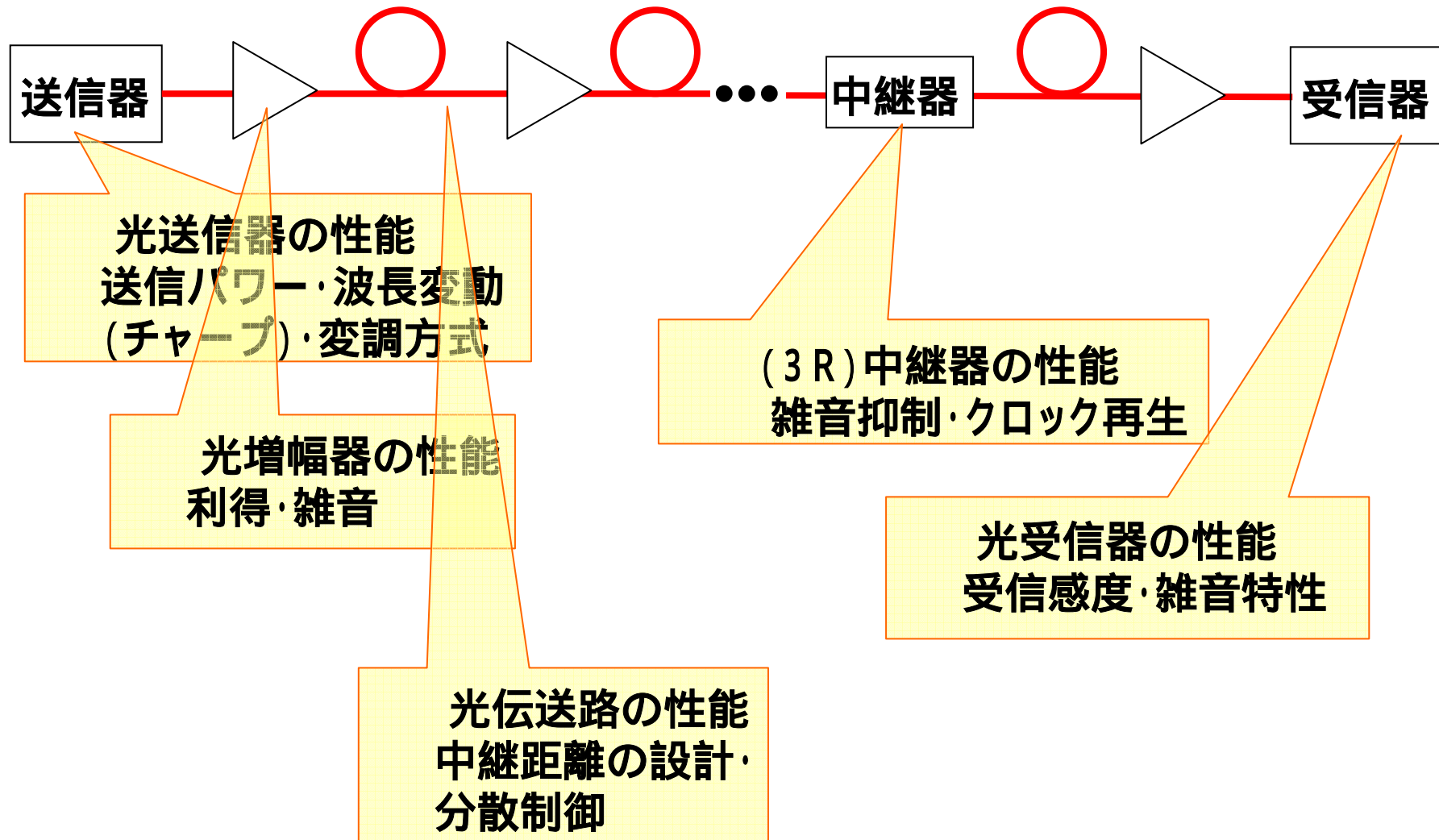
- >10GHzでも損失小
- 電磁雑音の影響小

# 伝送速度 対 伝送距離

OplusE 2007年2月号, Vol.29, No.2, p.139 図1



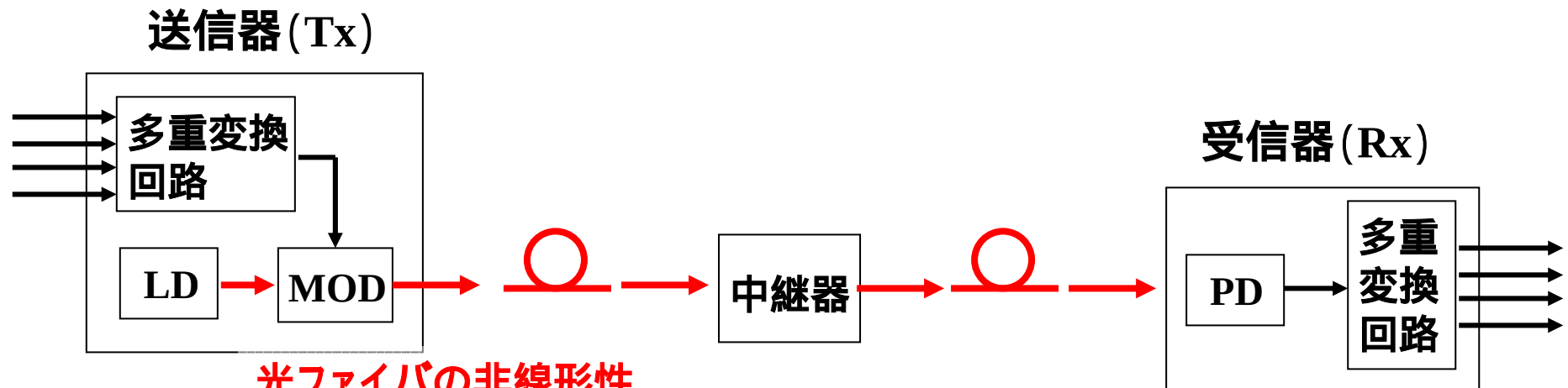
## 光通信システム的设计ポイント



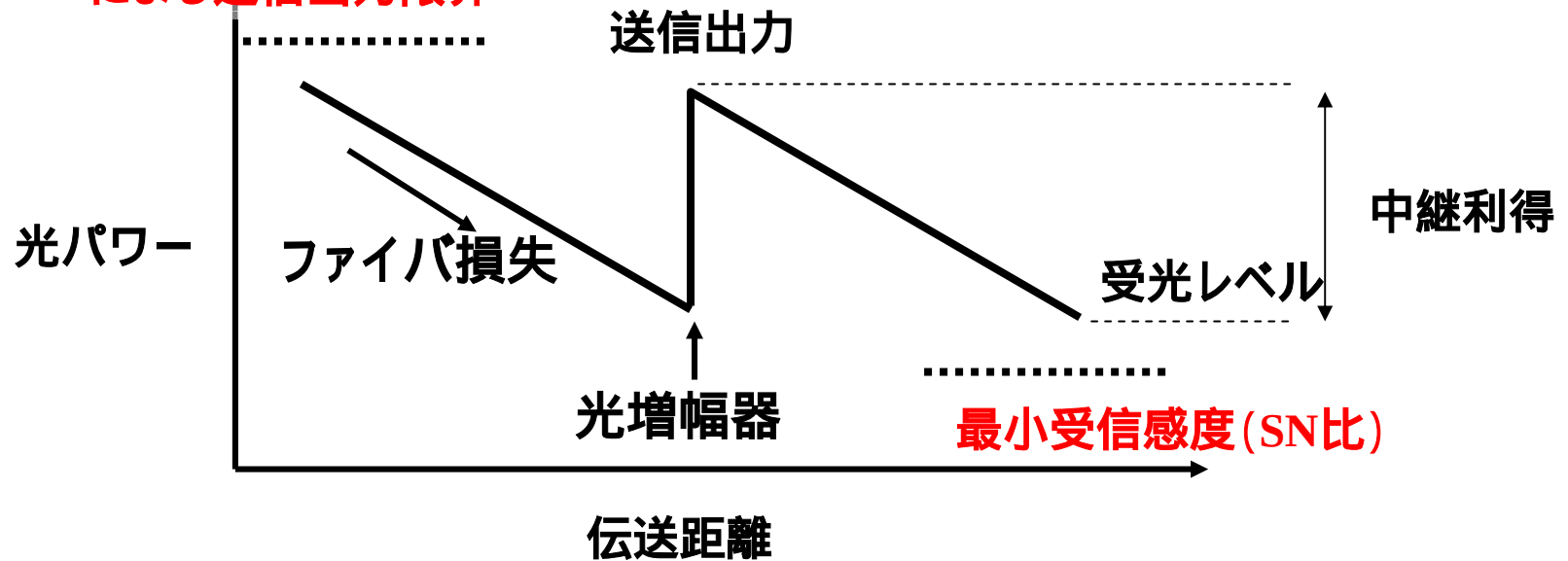
2007年度

光通信システム

# 光通信システムの基本構成とレベルダイアグラム



光ファイバの非線形性  
(自己位相変調)  
による送信出力限界



# 現在の光通信を概観する

## 通信系全体

- All IP化の流れの加速



- 固定系と移動系のシームレスな接続



Fixed Mobile Convergence  
(FMC)

## 固定電話系

- ソフトバンクの参入

NTTグループ  
KDDI  
ソフトバンク

## 移動系

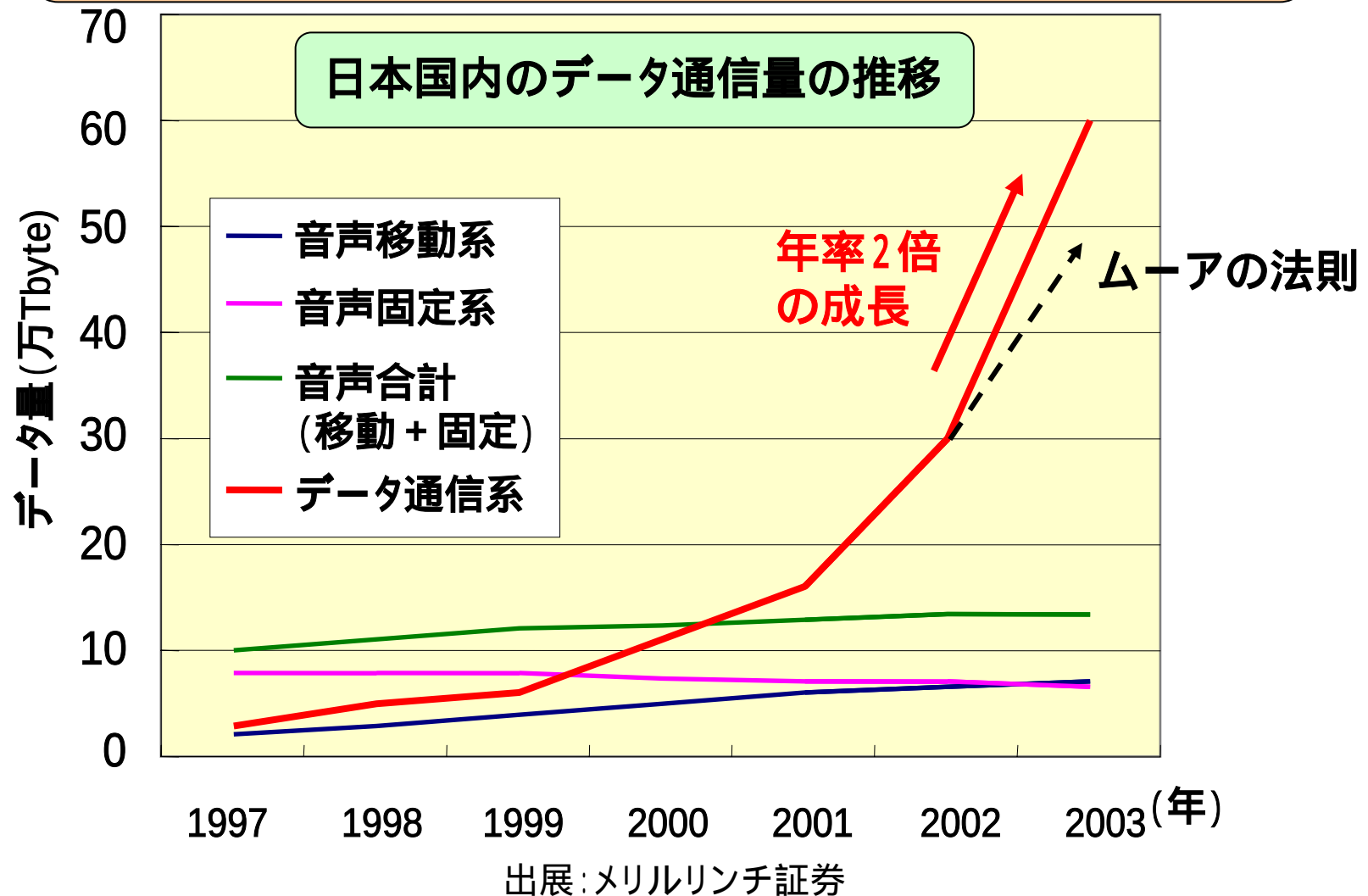
- 新規参入

イー・モバイル  
アイティー・モバイル

NTTドコモ  
au (KDDI)  
ソフトバンクモバイル

## 通信トラフィックの成長

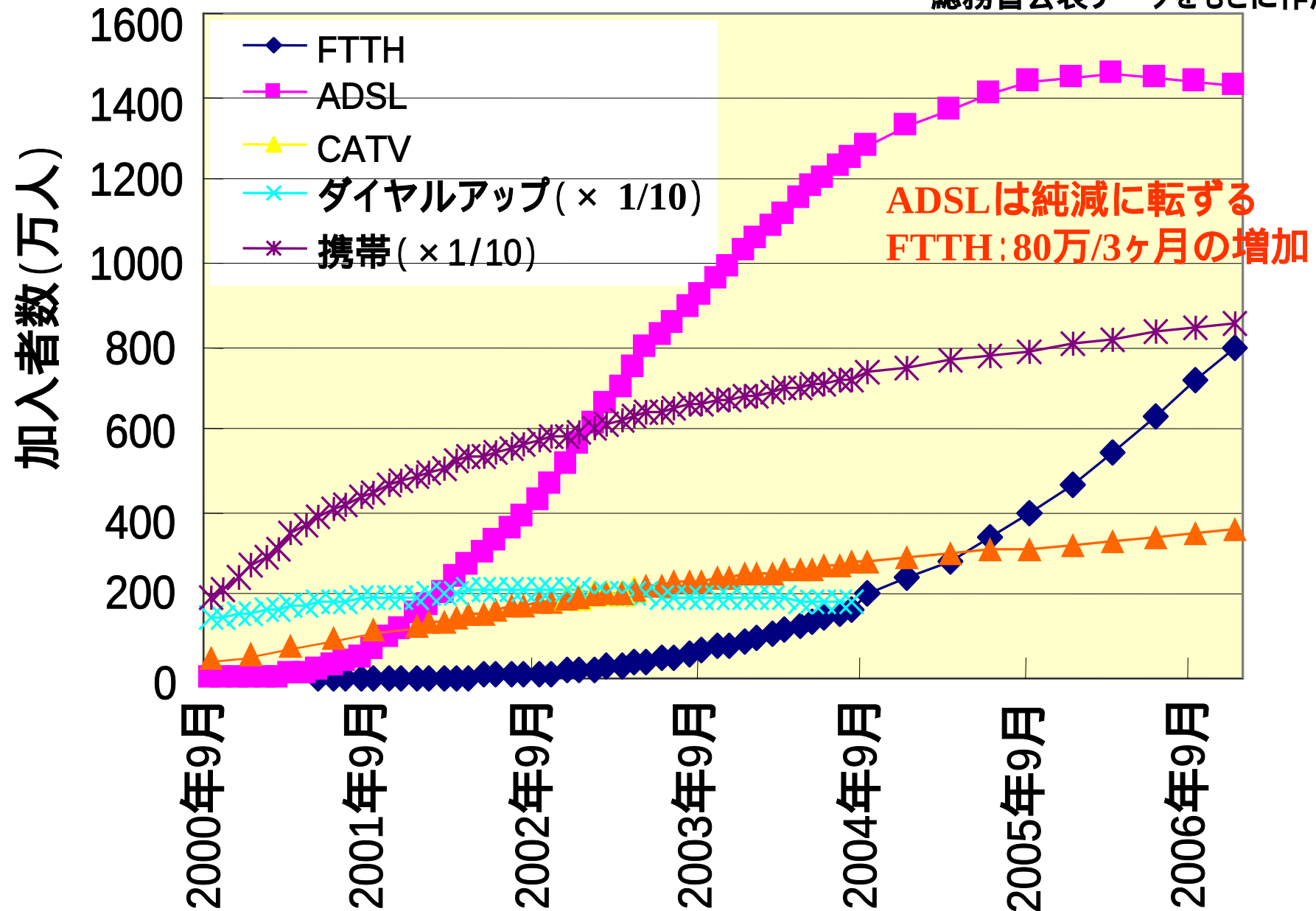
通信トラフィックは電子回路技術の進歩を超える速度で成長  
➡ 電子回路の処理速度を克服する、データ系通信を主体とした高速・大容量NWの構築が必須



2007年度  
光通信システム

# 各種インターネット接続サービスのユーザ数の変遷 (2006年12月現在)

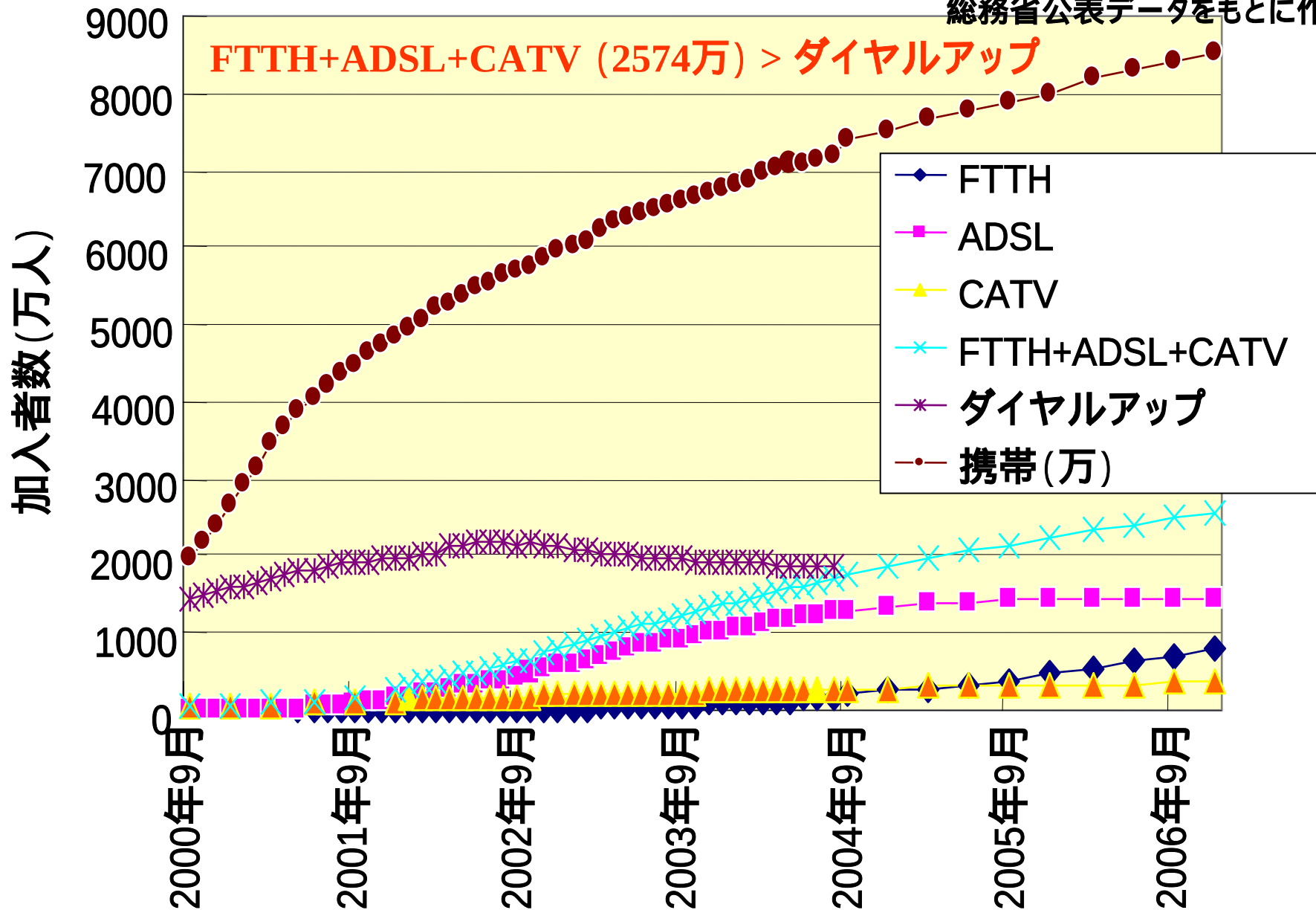
総務省公表データをもとに作成



2007年度  
光通信システム

# 各種インターネット接続サービスのユーザ数の変遷 (2006年12月現在)(実数での比較)

総務省公表データをもとに作成



**JPIX (Japan Internet Exchange, 日本最大のIXの一つ)のデータ・トラフィック量**

2007年4月13日現在

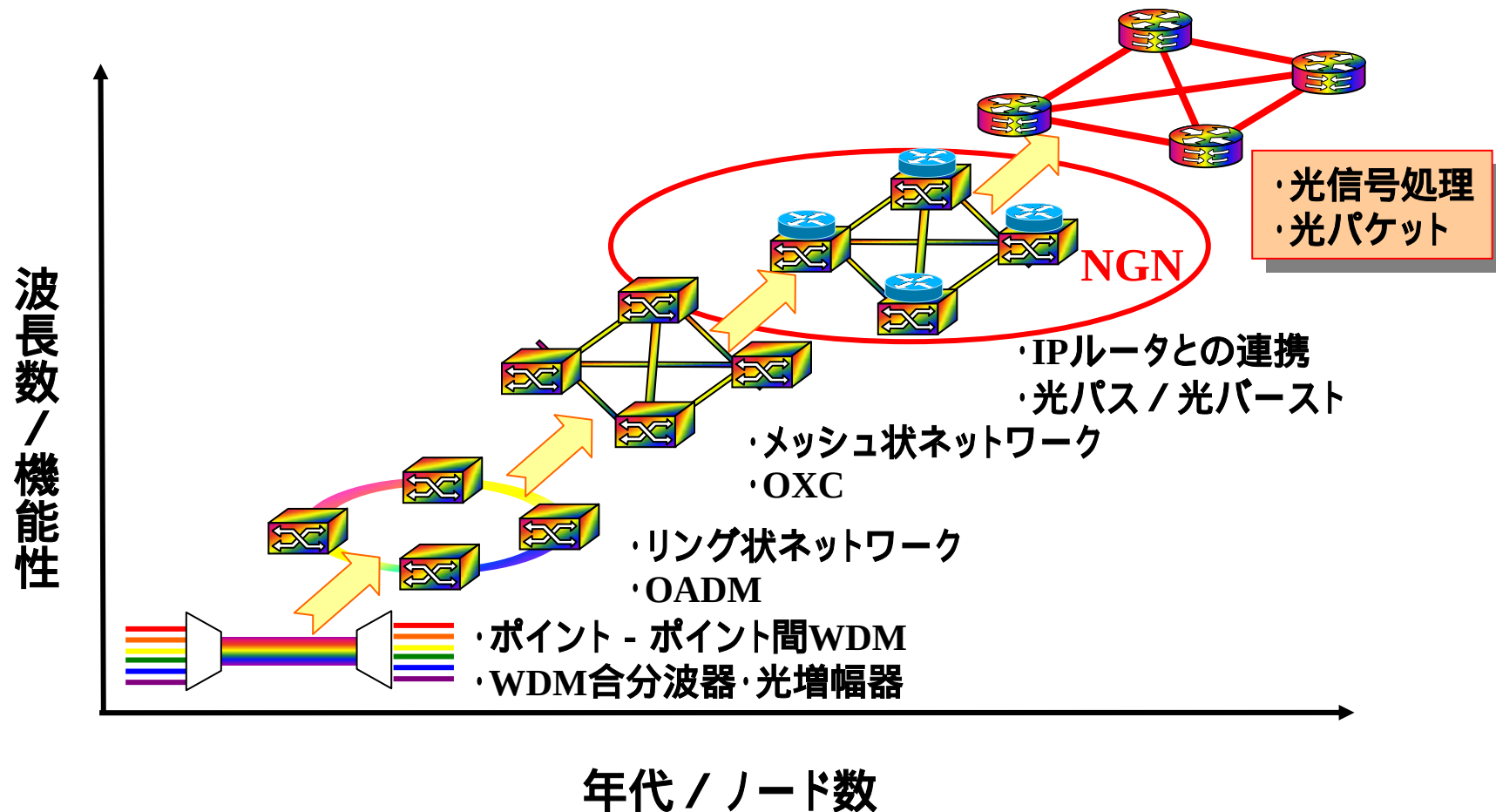
**急増するデータ・トラフィックへの  
対処が求められる**

JPIX公開データより

# 光通信はフォトニックネットワークへ！

フォトニックネットワーク：  
Transmission, Multiplexing, Demultiplexing, Switching, Routing  
などの転送機能を光領域で行うネットワーク

フォトニックインターネット推進協議会資料を基に作成



# 光通信の主な歴史

| 年代   | ネットワーク       | 部品                             | サービス          |
|------|--------------|--------------------------------|---------------|
| 1962 |              | ・半導体レーザの発振                     |               |
| 1970 |              | ・半導体レーザの室温CW実現<br>・低損失光ファイバの実現 | ・電話の積滞解消      |
| 1985 | ・日本縦貫光通信NW開通 |                                |               |
| 1988 |              |                                | ・ISDNサービス開始   |
| 1993 |              | ・光ファイバ増幅器の導入                   | ・HTTP出現       |
| 1997 | ・DWDM導入      |                                | ・国内の電話デジタル化完了 |
| 1998 |              |                                | ・個人向けADSL     |
| 2000 |              |                                | ・個人向けFTTH     |
| 2001 |              |                                | ・固定電話IP化宣言    |
| 2004 |              |                                |               |

電話

Internet